

# МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ І СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

УДК 621.002.5.001

Пальчевський Б.О., д.т. н., професор

Луцький національний технічний університет

## БУДОВА ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

*Розглянуто особливості будови і використання експертних інтелектуальних систем для автоматизованого проектування технологічного устаткування. Показано особливості будови бази знань в галузі проектування технологічних машин.*

Експертна система, інформаційні технології, функціональний модуль, компоновка

### 1. Загальна концепція інтелектуалізації проектування технологічного устаткування

Проектування будь-якого технічного об'єкту — це створення, перетворення і представлення в прийнятій формі образу цього ще не існуючого об'єкту. Образ об'єкту може створюватися в уяві людини в результаті творчого процесу або генеруватися відповідно до деяких алгоритмів в процесі взаємодії людини і ЕОМ [1-3].

Створюючи нові технічні вироби, інженер-проектувальник вирішує завдання різного рівня складності. Існують два основні напрями конструювання технічних об'єктів:

- прототипування;
- пошукове конструювання.

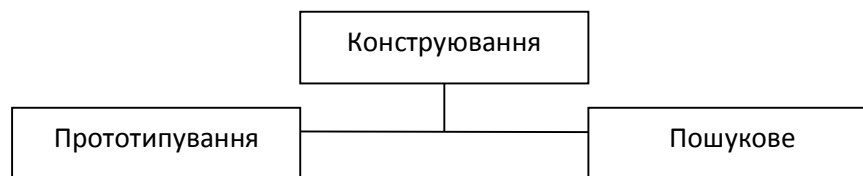


Рис.1. Види проектування

Результатом **прототипування** є технічний об'єкт, зібраний з типових елементів аналогічно до прототипу, який адаптується до нових умов використання, а результатом **пошукового конструювання** є оригінальна конструкція.

Системи першого класу (класичні САПР) в основному орієнтовані на використання готових рішень. Класичні САПР використовуються в тих випадках, коли при проектуванні виробів даного класу накопичений достатній досвід.

Системи другого класу – це інтелектуальні експертні САПР, що підтримують спеціальними засобами ту частину праці проектувальника, яка пов'язана з пошуком нестандартних рішень. Інтелектуальні САПР необхідні проектувальникам тоді, коли відсутні методики проектування, що досить пропрацювали, або виріб принципово новий і вимагає значних витрат творчої праці.

Розвиток сучасних САПР технологічного устаткування відбувається у напрямі надання ним інтелектуальних функцій для отримання інтелектуальних систем автоматизованого проектування. Такі системи зможуть генерувати технічні рішення, виходячи з відомостей про технологічне завдання, яке він повинен виконувати. З визначення САПР виходить, що метою її функціонування є проектування як процес переробки інформації, що приводить, кінець кінцем, до отримання повного уявлення про проектуваний об'єкт у вигляді робочої документації.

Інформаційні технології в проектуванні технологічного устаткування - це новий етап розвитку САПР, який характеризується підвищенням інтелектуальності систем проектування з використанням ідей штучного інтелекту, експертних систем [1].

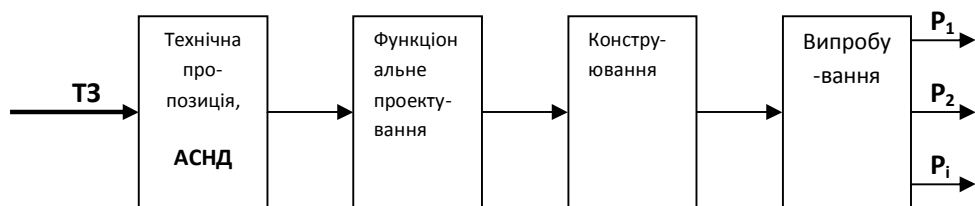


Рис. 2. Структура процесу проектування і показники якості проекту

## 2. Експертні системи в проектуванні технологічного устаткування

Для реалізації проектування технологічного устаткування головною невирішеною проблемою є автоматизація початкових етапів проектування і використання результатів моделювання в процесі синтезу. Її рішення дозволить виробляти крізне автоматичне проектування технологічного устаткування, яке забезпечить підвищення швидкості і якості проектування, а також надійність спроектованого устаткування.

Вищесказане дозволяє зробити вивід про необхідність розробки спеціального методичного, алгоритмічного і програмного забезпечення, метою якого стало б створення умов переходу до єдиного крізного маршруту проектування технологічного устаткування і елементної бази для нього.



Рис.3. Експертна система

Розвиток сучасних САПР технологічного устаткування відбувається у напрямі надання їм інтелектуальних функцій. У найбільш загальному вигляді структура інтелектуальної системи проектування включає базу знань і базу даних (рис. 3).

**Банк даних** – сукупність засобів для централізованого зберігання і колективного використання даних в САПР.

База даних – сукупність призначених для машинної обробки конкретної предметної області. Зазвичай база даних представлена в зовнішній пам'яті ЕОМ в вигляді формалізованих і структурізованих даних.

СУБД – сукупність програмних і апаратних засобів, що здійснюють керування базою даних (проводять записи і вибірку даних, забезпечують проектування в режимі діалогу, автоматизоване збирання даних тощо).

Як і всяка інша система штучного інтелекту, ЕС має в своєму складі **базу знань**, в якій зберігається вся необхідна для її роботи інформація з області, в якій вирішується завдання проектування. У цій базі знань зібрані і той досвід, який накопичений проектувальниками, і

експертна інформація про можливі дороги пошукового конструювання — вона спирається на методи моделювання міркувань, типові для фахівців, які працюють в даній області. В САПР поняття «знання» відповідає інтеграції інформації, що характеризує об'єкти предметної області, з інформацією, що описує основні закономірності в даній області. Знання на відміну від даних мають семантику. Для опису семантики даних і їх зв'язків із задачами проектування створюють орієнтовану на конкретну область базу знань. Вона складається із моделей проектування, об'єктів проектування і моделей опису понять, що дозволяє перейти від обробки даних до обробки знань.

Інформаційне забезпечення САПР – це сукупність даних і документів, необхідних для виконання автоматизованого проектування, представлених в заданій формі, а саме: документи, що містять описи стандартних проектних процедур; типових проектних рішень, типових елементів, нормативно-довідкові документи, системи класифікації і кодування інформації, системи документації ЕСКД, фонди алгоритмів і програм тощо [4-5].

База знань є сукупністю середовищ, що зберігають знання різних типів, а саме:

- База правил — елементарні вирази, звані в теорії штучного інтелекту продукціями.
- База процедур містить прикладні програми, за допомогою яких виконуються всі необхідні перетворення і обчислення.
- База закономірностей включає різні відомості, що відносяться до особливостей того середовища, в якому діє система.
- База цілей містить цільові структури, звані сценаріями, дозволяючи організувати процеси руху від вихідних фактів, правил, процедур до досягнення тієї мети, яка постуила в систему від користувача або була сформульована самою системою в процесі її діяльності в проблемному середовищі.
- Управління всіма базами, що входять в базу знань, і організацію їх взаємодії здійснює система управління базами знань. З її ж допомогою реалізуються зв'язки баз знань із зовнішнім середовищем.

Коли на вхід системи поступає завдання на проектування, яке в ЕС може формулюватися на природній професійній мові, воно за допомогою природно-мовного інтерфейсу і інших діалогових засобів доводиться до розуміння системи, уточнюється у користувача і переводиться в спеціальне внутрішнє представлення. Після цього робиться спроба звести процес проектування до стандартних процедур, що реалізуються в класичних САПР. Якщо ця спроба виявляється безуспішною, то логічний блок передає завдання на вхід експертної системи, орієнтованої на рішення задачі проектування в даній області. Взаємодіючи з базою знань і САПР, експертна система шукає рішення задачі. В рамках сучасних ЕС інтегруються різні процедури, завдання, етапи і рівні проектування, забезпечується безперервний крізний цикл автоматизованого проектування, починаючи від етапу підготовки технічного завдання і вироблення технічної пропозиції і кінчаючи створенням робочого і технічного проектів.

В процесі роботи ЕС вирішуються всі основні завдання технічного проектування.

1. Складається обґрунтоване технічне завдання.
2. Проводиться концептуальний аналіз: вибирається конструктивно-компонувальна схема, аналізується вартість проекту.
3. Проводяться структурний синтез і оптимізація.
4. Ведеться пошукове конструювання (винахідництво).
5. Конструкції перепроєктуються і допрацьовуються.
6. Готуються робочі креслення і документація.

Кожне з цих завдань вимагає складного програмного і інформаційного забезпечення.

Експертна система автоматизованого проектування пакувального обладнання ґрунтується на ідеях **функціонально-модульного конструювання**, при якому з окремих функціональних модулів (ФМ) компонуються технологічні машини модульної архітектури. Результати проектування представляються в вигляді їх віртуальних 3-D моделей, що формуються за певними правилами із бази даних електронних моделей ФМ.

### 3. Особливості моделювання при проектуванні

Методи вирішення завдань проектування, що засновані на зведенні їх до пошуку прийнятних технічних рішень, залежать від особливостей прикладної області і від вимог, що пред'являються користувачем до рішення.

Хай задано деяке виробниче середовище ФМ, в якому дія ЕС полягає в досягненні технічного рішення з деякої вихідної ситуації, заданою технічним завданням, за допомогою планів дій при проектуванні

$$P_0 = \{p_i\},$$

де  $p_i = 1, \dots, n$  - проектні процедури.

Задати технічні умови в виробничому середовищі ФМ - це означає вказати властивості  $c_j \in C_0$  функціональних модулів  $\Phi M_k \in A_0$  і відношення між ними  $r_m \in R_0$ . Модель виробничого середовища функціональних модулів для такої дії інтелектуальній САПР можна представити у вигляді

$$M_0 = \langle A_0, P_0, C_0, R_0 \rangle,$$

а завдання планування проектних процедур у виробничому середовищі  $M_0$  можна сформулювати таким чином: задані технічне завдання і технічні умови, необхідно побудувати з виконавчих процедур  $p_i \in P_0$  план проектування  $P_0$ , який, будучи застосованим до технічного завдання, дозволяє досягти технічних умов [5].

Перед людиною при рішенні цієї задачі зазвичай виникають проблема того, що пошук плану проектування утруднений із-за великої розмірності простору пошуку. Отже, ЕС необхідні загальніші по відношенню до  $M_0$  моделі виробничого середовища ФМ.

Процес проектування технологічної машини передбачає функціональне проектування, на якому створюється функціональна модель робочого процесу в машині, та структурне проектування, на якому на основі робочого процесу створюється модель структури машини. Очевидно, що функціональний опис є більш загальним, оскільки кожна технічна функція може бути реалізована багатьма варіантами конструкцій ФМ. І, навпаки, кожен варіант конструкції ФМ може реалізувати тільки єдину функцію - саме ту, для якої він був створений. З цього міркування витікає, що функціональна модель є більш загальною ніж структурна. Ця модель огрублено описує властивості функціональних модулів - тільки їх функціональне призначення.

Хай  $C_1$  - множина, що отримується огрубленням властивостей функціональних модулів  $c_j \in C_1$ ,  $P_1$  - множина процедур побудови спрощеного технічного рішення,  $A_1 \leq A_0$ ;  $R_1 \leq R_0$ . Тоді спрощену модель виробничого середовища функціональних модулів можна представити у вигляді

$$M_1 = \langle A_1, P_1, C_1, R_1 \rangle,$$

а постановку тактичного завдання проектування та його рішення - у вигляді сукупності  $P_1 = p_1 \dots, p_m$ . Вочевидь, завдяки вказаному огрубленню в спрощеній моделі виробничого середовища функціональних модулів  $M_1$  стають невиразними окремі функціональні модулі і проектні процедури. Проте подібне спрощення, що викликається "грубістю" органів чуття інтелектуальної ЕС, дозволяє значно понизити розмірність простору пошуку рішень. Подальше огрублення моделі виробничого середовища  $M_2$  представляє узагальнені функціональні модулі  $\Phi M_k \in A_2$ , властивості яких  $c_j \in C_2$  і відношення  $r_m \in R_2$  між якими визначаються узагальненими поняттями.

Такі моделі дозволяють знаходити рішення на початкових етапах проектування. На наступних етапах моделі ускладнюються, що дозволяє при проектуванні використовувати ланцюжок моделей із різним рівнем деталізації опису виробничого середовища функціональних модулів. Заданим вважаються виріб і його модель, аналіз яких використовується для побудови моделі робочого процесу в машині як множини елементарних технологічних функцій.

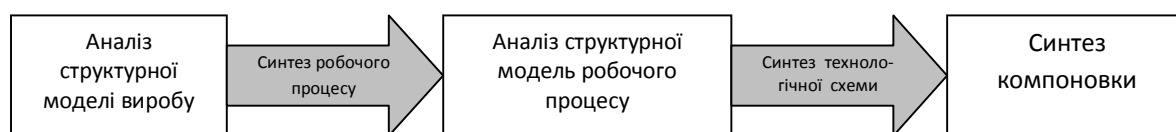


Рис. 4. Послідовність моделей

При пошуковому проектуванні розглядається підхід до автоматизованого проектування технологічного устаткування виходячи із з відомостей про виконуваних ним функціях, які описують робочий процес. Сам робочий процес є результатом аналізу конструкції виробу і синтезу процесу з елементарних технологічних функцій.

Заданими вважаються моделі виробу, аналіз яких використовується для побудови моделі робочого процесу в машині. Цей робочий процес є результатом синтезу із елементарних технологічних функцій, які отримують в результаті конструктивно-технологічного аналізу виробу, що повинен виготовлятися. Наступним кроком є знаходження відповідності елементарним функціям в вигляді типів технічних засобів – типів ФМ. Тут виникає дві задачі:

1. знаходження оптимального розміщення функцій по ФМ;
2. знаходження оптимального розміщення ФМ в робочому просторі – в вигляді технологічної схеми машини.

Наступним кроком є знаходження оптимальної за певними критеріями функціонально-модульної структури машини із використанням бази даних ФМ.

Таким чином отримується логічна послідовність етапів проектування, кожен з яких закінчується побудовою більш точної моделі виробничого середовища, причому результати попереднього в вигляді відповідних моделей використовуються в наступному

Кожен етап проектування зводиться до формування описів проектного технологічного устаткування, що відносяться до різних ієрархічних рівнів і аспектів його створення і роботи. З точки зору послідовності виконання розрізняють основні стадії проектування :

- аван-проектування, де здійснюється обґрунтування вихідних даних для проектування, результати якого оформляються в вигляді технічних умов, технічного завдання і технічної пропозиції;
- функціональне проектування, під час якого здійснюють оптимізаційний синтез робочого процесу технологічного устаткування, проектують технологічну і принципову схеми;
- структурне проектування, під час якого формується структура проектного об'єкту, його складових частин, якими зазвичай є функціонально завершені блоки, – функціональні модулі (ФМ), визначаються просторові і функціональні зв'язки між ними;
- конструювання, під час якого оптимізується технічне рішення за конструктивно-технологічними, економічними і експлуатаційними показниками. На цьому етапі проектування розробляють робочий проект, тобто технічну документацію, необхідну для виготовлення і експлуатації технологічного устаткування.

#### **4.3міст етапів інтелектуальної ЕС технологічного устаткування**

##### **4.1. Аван-проектування**

Це – аналіз вихідних даних і формулювання цілей. Цей етап характеризується тим, що перетворює початкову ситуацію на набір даних, які дозволяють сформулювати цілі, що визначають весь процес проектування.

Розбиття глобальної мети на підцілі продовжується до тих пір, поки не з'явиться можливість пов'язати цілі нижніх рівнів із засобами, що забезпечують виконання цих цілей, тобто зведення цілей нижчого рівня до перерахування функцій, що виконуються пристроєм.

##### **4.2. Функціональне проектування**

Функціональне проектування починається із аналізу виробу, який повинен виготовлятися на технологічному устаткуванні. Цей виріб у випадку складальної одиниці представляє собою поєднання деталей і з'єднань між ними, а у випадку окремої деталі – поєднання поверхонь чи конструктивних елементів із декількох поверхонь і геометричних відношень між ними .

Розглянемо, як приклад, аналіз конструкції окремої деталі. На послідовність обробки поверхонь деталі, впливають функціональні, конструкторські та технологічні обмеження, що дозволяє виділити три групи протиріч у відношеннях передування, тобто у відношеннях «яка поверхня повинна бути виготовлена раніше тієї, що розглядається», а саме:

- **функціональні відношення передування**, що накладаються умовами функціонування деталі;
- **конструкторські відношення передування**, що накладаються умовами просторового розташування поверхонь в деталі;
- **технологічні відношення передування**, що накладаються умовами обробки деталі.

#### **4.3. Структурне проектування – оптимізаційний синтез**

Серед завдань компоновки вузлів можна виділити два характерні класи.

До першого відносяться завдання створення компоновки з конструктивних вузлів - ФМ, в яких здійснюється реалізація робочого процесу з врахуванням таких обмежень, як кількість функцій, що виконуються ФМ, число зв'язків ФМ, сумарна площа, займана ФМ, кількість ФМ. Головними критеріями для такого розбиття є мінімум числа тих, що утворюються ФМ, мінімум числа міжмодульних з'єднань.

Такі завдання виникають при розбитті технологічної схеми технологічного устаткування на ФМ великій мірі складності, до яких не пред'явлені вимоги відносно уніфікації. Перш за все, це завдання розподілу окремих ФМ по блоках і агрегатах. Вимоги мінімізації числа частин і кількості їх межсоединений залишаються в силі і при розбитті технологічної схеми на конструктивні одиниці - ФМ, закінчені комбінації елементів, що містять функціонально. В цьому випадку вказані функціональні утворення можуть розглядатися в процесі створення компоновки як єдине ціле з відповідними конструктивними параметрами і далі розподілятися по вузлах більш високого рівня так само, як і дійсні конструктивні елементи. До відмічених вище критеріїв і обмежень можуть бути додані та інші, наприклад, умови, що забезпечують сумісність окремих ФМ. Ці умови або мають бути з'ясовані до компоновки і реалізовані правильним створенням критичних груп ФМ у відповідні блоки або агрегати, або перевірені після компоновки. У останньому випадку можливий перерозподіл деяких ФМ.

Таким чином, до першого класу завдань компоновки відносяться такі, в яких критерії оптимізації і обмеження можуть бути зведені до певних конструктивних параметрів розташування окремих ФМ і їх межсоединений. Їх називають завданнями компоновки.

Другий клас завдань утворюють завдання компоновки, в яких, окрім конструктивних характеристик тих, що утворюються ФМ, істотні і їх функціональні характеристики. Ці завдання виникають на етапі переходу від структури робочого процесу до технологічної і принципової схеми технологічного устаткування і полягають в призначенні елементам виконавця процесу типових ФМ модулів із заданого набору. Набор типових ФМ повинен мати властивість повноти, тобто забезпечувати реалізацію будь-якої технологічної схеми.

Завдання побудови оптимального набору ФМ представляє значну складність і до теперішнього часу залишається мало вивченим. Окремі результати в цьому напрямі відносяться до побудови кількісних оцінок ефективності на підставі аналізу результатів конкретних компоновок технологічного устаткування.

Етап структурного проектування технологічного устаткування є комплексом завдань, пов'язаних з перетворенням функціональної моделі робочого процесу в сукупність конструктивних компонентів, між якими існуватимуть необхідні просторові і функціональні зв'язки.

При структурному проектуванні технологічного устаткування провідним принципом являється модульний, який полягає у виділенні ФМ різної міри складності, що знаходяться у просторовому і функціональному взаємозв'язках.

Послідовність ФМ задається структурою технологічної операції.

Окрім того, використовується матриця можливих дозволених сполучень між собою ФМ та алгоритм оцінки отриманих поєднань ФМ.

Наступна проектна процедура – це розміщення вибраного набору ФМ в компоновці машини, розподіл окремих ФМ по блоках і позиціях. Тут враховуються такі обмеження, як кількість функцій, що виконуються ФМ, число зв'язків ФМ, сумарна площа, займана ФМ, кількість ФМ.

#### **4.4. Конструювання і розробка робочого проекту**

Етап конструкторського проектування технологічного устаткування є комплексом завдань, пов'язаних з перетворенням функціональної моделі робочого процесу в сукупність конструктивних компонентів, між якими існуватимуть необхідні просторові і функціональні зв'язки. Конструкторський етап є таким, що завершує в загальному циклі розробки технологічного устаткування і закінчується видачею конструкторсько-технологічної документації для його виготовлення і експлуатації.

Таким чином, конструкцію технологічного устаткування можна представити у вигляді ієрархічної структури, що складається з компонентів різної міри складності.

Конструкторський етап є таким, що завершує в загальному циклі розробку технологічного устаткування і закінчується видачею конструкторської документації для його виготовлення і експлуатації.

Моделі компонувань технологічного устаткування отримуються шляхом поєднання в моделі устаткування електронних моделей вибраних ФМ, вибраних з банку даних ЕС. Вони розрізнятимуться деталізацією відтворення в них компонентів – ФМ і зв'язків між ними. Окремі модифікації компонок машин відрізнятимуться видом ФМ, їх кількістю і наявністю допоміжних ФМ.

Після закінчення оптимізаційного синтезу функціонально-модульної структури технологічної машини підсистема віртуального моделювання використовуючи 3-D моделі типових ФМ дозволяє побудувати віртуальну 3-D модель проєктованої машини і створити автоматично її робочі креслення.

Програми твердотільного проєктування дають можливість використовувати електронні версії мультимедіа каталогів 2D/3D, що надаються виробниками типових функціональних елементів технологічних машин (Camozzi, Festo, etc).

Як бачимо, в ЕС використовуються евристичні алгоритми оптимізаційного синтезу робочого процесу в машині, її технологічної схеми і компоновки із використанням експертних знань для побудови процедур синтезу і оцінки технічних рішень.

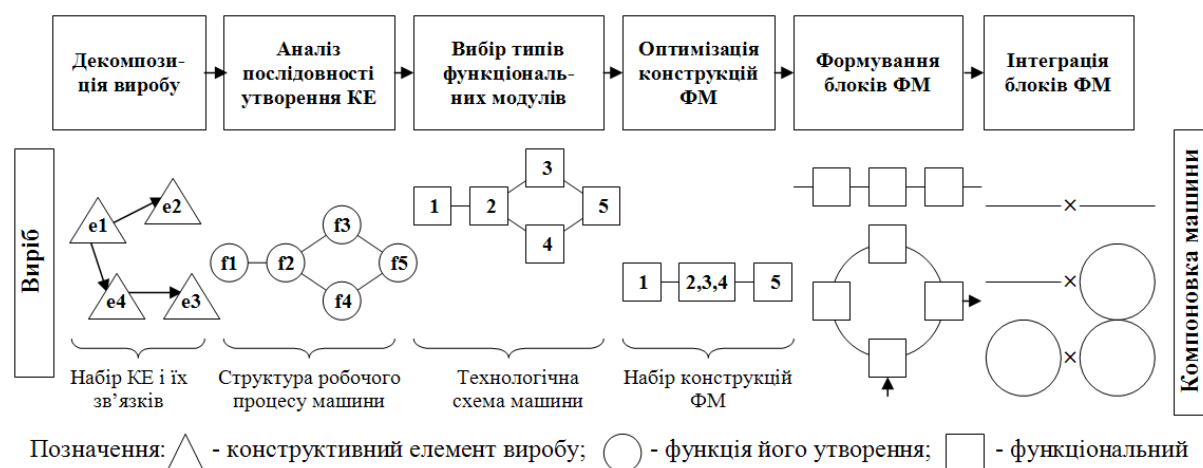


Рис. 5. Системна єдність процесу проєктування технологічного устаткування

Принцип системної єдності процесу проєктування (рис.5) передбачає забезпечення цілісності САПР за рахунок зв'язку між її підсистемами починаючи від алгоритмів аналізу структури виробу і закінчуючи формуванням моделі структури технологічного устаткування. Інформаційний зв'язок між підсистемами проєктування забезпечується функціонуванням підсистеми управління банками даних САПР, яка залучає бази знань із формалізованими проектними процедурами і бази даних із типовими ФМ, технологічними і компоувальними схемами та 3-D моделями ФМ.

1.Пальчевський Б.О. Інформаційні технології проєктування технологічного устаткування. – Луцьк: Видавн-во Луцького НТУ, 2012.-572 с.

2.В. Palchevskiy. Principles of creation of intellectual computer aided design of technological equipment// Технологічні комплекси: Науковий журнал. – Луцьк: видавництво Луцького НТУ, 2013, №2(8), с.8-15.

3.Пальчевський Б.О. Інформаційні технології керованого синтезу синтезу функціонально-модульної структури технологічного обладнання // Технологічні комплекси: Науковий журнал.- Луцьк: видавництво Луцького НТУ, 2013, №1(7), с.19-28.

4.Gola A., Świć A.: Algorytm generowania ścieżek technologicznych w procesie doboru obrabiarek. Zarządzanie Przedsiębiorstwem nr 1(2011), s. 8-16.

5.Gola A., Świć. A.: Design of FFMS Storage Subsystem Using Computer Simulation Method. Actual Problems of Economics/ Актуальні Проблеми Економіки 2013, 4(142), s. 312-318.